

**Aus der Klinik für Mund-, Kiefer-, Gesichtschirurgie und Plastische
Operationen
des Klinikums Saarbrücken
Akademisches Lehrkrankenhaus der Universität des Saarlandes**

**VERGLEICH VERSCHIEDENER DIAGNOSTISCHER VERFAHREN ZUR
SCHONUNG DES NERVUS ALVEOLARIS INFERIOR BEI DER ENOSSALEN
IMPLANTATION IM UNTERKIEFERSEITENZAHNGBEIT**

Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnheilkunde
der Medizinischen Fakultät
der UNIVERSITÄT DES SAARLANDES
2007

vorgelegt von
Jan Hendrik Foet
geb. am 09.05.1975 in Bonn

Tag der Promotion:

Dekan:

Berichterstatter:

Meiner Familie in Liebe und Dankbarkeit gewidmet

INHALTSVERZEICHNIS

1. Zusammenfassung	6
2. Einleitung.....	10
2.1. Zielsetzung der vorliegenden Arbeit	11
2.2. Anatomische Grundlagen	11
2.2.1. Röntgenanatomie in der Panoramaschichtaufnahme.....	11
3. Material und Methodik	13
3.1. Verwendete Implantatsysteme	13
3.2. Röntgendiagnostik und –kontrolle.....	15
3.2.1. Kugelmessaufnahme	17
3.2.2. Mittelwertschablonen.....	19
3.2.3. Computertomographie	20
3.2.4. Digitale Volumentomographie (DVT).....	23
3.2.5. Navigationsgesteuerte Implantologie	25
3.2.6. Die intraoperativ angefertigte Röntgenmessaufnahme mittels Panoramaschichtaufnahme (PSA)	27
3.3. Risiken und Komplikationen	31
4. Ergebnisse.....	34
4.1 Auswertung.....	34
4.1.1. Alters- und Geschlechtsverteilung.....	34
4.1.2. Implantationslokalisation	35
4.1.3. Implantateigenschaften	36
4.1.4. Sensibilität	38
5. Diskussion.....	42
5.1. Kritische Betrachtung dieser Untersuchung	42
6. Literaturverzeichnis	47

7. Bildverzeichnis	50
8. Dank.....	51
9. Lebenslauf.....	52

1. Zusammenfassung

Der Inhalt der vorliegenden wissenschaftlichen Arbeit ist die Bewertung der intraoperativen Messaufnahme mittels Panoramaschichtaufnahme (PSA) zur Schonung des Nervus alveolaris inferior bei der oralen, enossalen Implantation im Unterkieferseitenzahnggebiet im Vergleich mit verschiedenen anderen diagnostischen Verfahren. Dabei wurde insbesondere auf die Mittelwertschablone, die Kugelmessaufnahme, die Computertomographie (CT), die digitale Volumentomographie (DVT) und die navigationsgesteuerte Implantologie eingegangen. In der hier verglichenen Methode wird bei der Implantation nach Festlegung der Implantatposition und erfolgter Pilotbohrung ein Parallelisierungsstift beziehungsweise Richtungsindikator in den Knochen eingebracht. Dieser Stift, mit einer Länge von 10 bzw. 8 mm hat einen Referenzring, der exakt mit der Knochenoberkante abschließen soll. Mit dem oder den Stiften in situ wird intraoperativ eine PSA-Messaufnahme angefertigt. Die definierte Länge des Parallelisierungsstifts lässt eine Berechnung zu, die den Restabstand zu sensiblen Strukturen im Unterkieferseitenzahnggebiet bestimmen lässt und eine entsprechende Implantatlängenauswahl ermöglicht.

Die hier beschriebene Methode kann nur in Lokalanästhesie erfolgen, da eine gewisse Kooperation des Patienten Grundvoraussetzung ist. Demnach konnten Daten aus Implantationen in Intubationsnarkose in dieser Arbeit nicht berücksichtigt werden. Des Weiteren wurden keine Daten von Patienten bewertet, die bereits präimplantologisch ein Sensibilitätsdefizit zum Beispiel nach Tumorresektion im Bereich des Nervus alveolaris inferior oder des Nervus mentalis aufwiesen.

Die notwendigen Daten wurden durch Sichtung und Auswertung der archivierten Behandlungsunterlagen und Röntgenaufnahmen der Patienten im Zeitraum von 1999 bis 2006 gewonnen.

Im beschriebenen Zeitraum wurden 102 partiell zahnlose Patienten mit 217 Implantaten in 117 Unterkieferhälften versorgt. Dabei wurden verschiedene Parameter, wie Alter- und Geschlechtsverteilung, Implantationslokalisation, Implantattyp und –länge, sowie die postoperative Sensibilität und die Qualität der auftretenden Störung ausgewertet.

Bei der Verteilung der Geschlechter und der Unterkieferhälften (III. und IV. Quadrant) gab es innerhalb des Patientenguts keine signifikanten Unterschiede. Am häufigsten erfolgte die Implantation im Bereich des ersten und zweiten Molaren.

Bei den verwendeten Implantatsystemen unterschiedlicher Fabrikate (Lifecore®, Nobel Biocare® und Dental Tech®) handelte es sich aber in allen Fällen um Schraubenimplantate vom zweiteiligen Typ. Dabei stellten die Implantate der Firma Lifecore®, gefolgt von denen der Firma Dental Tech® die größte Gruppe dar.

Bei der Betrachtung der Implantatlänge wurde die Gruppe der 11,5mm und 13mm langen Implantate mit Abstand am häufigsten verwendet.

Im Rahmen der Auswertungen zeigten sich bei insgesamt 6 Patienten postoperative Sensibilitätsstörungen, wobei lediglich in einem Fall ein persistierendes Sensibilitätsdefizit festgestellt wurde. Die Sensibilitätsstörungen waren spätestens nach 14 Tagen postoperativ nicht mehr nachweisbar. Betrachtet man diese Zahlen, so ergibt sich daraus eine 2,3 prozentige Wahrscheinlichkeit einer zeitlich begrenzten Sensibilitätseinbuße, bezogen auf die Gesamtheit der inserierten Implantate. Die Wahrscheinlichkeit einer tatsächlich persistierenden Nervschädigung betrug 0,46 Prozent.

In Anbetracht des geringen Abstandes der Implantate vom Mandibularkanal von durchschnittlich 2mm ist die Komplikation einer Schädigung des Nervus alveolaris inferior aus operationstechnischer Sicht doch eher gering. Hierfür zeichnet vor allem die intraoperative metrische Diagnostik des vertikalen Knochenangebotes mit Hilfe der Panoramamessaufnahme mit inserierten Parallelisierungsstiften mit individuellem Vergrößerungsfaktor verantwortlich.

Summary

The aim of the present scientific work is the assessment of the intraoperative measuring x-ray by means of conventional panoramic radiography (PSA) to the preservation of the nervus alveolaris inferior during the oral, endosseous implantation in the lower jaw molar region in comparison to different other diagnostic procedures. Special interest was put, in particular on the average template, the metal-ball measuring x-ray, the computer tomography (CT.), the volumetric computerized tomography (DVT) and the robot navigated implantologie.

In the method investigated here a direction indicator is introduced during the implantation procedure after definition of the implant position and pilot drilling in the jaw bone. This metal pin, with a length of 10mm or 8 mm has a stop ring which should fit precisely on top of the bone. With the direction indicator in place a intraoperative conventional panoramic radiography is made. The defined length of the direction indicator admits a calculation which allows to determine the rest distance to the nerv in the lower jaw molar area and allows a suitable implant lengths choice.

The method described here can be applied only in local anaesthesia, because a certain cooperation of the patient during the implantation is a basic condition. Therefore, data from implantations made under general anaesthesia could not be taken into consideration in this work. Also no data were gained from patients which already showed a sensitivity deficit, pre surgical in the area of the nervus alveolaris inferior or the nervus mentalis.

The necessary data were analysed by evaluating the archived documents of treatment and all made X-rays of the patients in the period from 1999 to 2006.

In the described period 102 partially toothless patients were supplied with 217 implants in 117 lower jaw halves. Also the parameters age distribution and gender distribution, implantation localisation, implant type and implant length, as well as the post surgical sensitivity and the quality of the appearing disturbance were evaluated.

In the distribution of the gender and lower jaw halves (III-rd and IV-th quadrant) there were no significant differences. Most often the implantation occurred in the area of the first and second molar.

However, with the used implant systems of different brands (Lifecore®, Nobel Biocare® and Dental Tech®) in all cases screw implants of the two-part type were used. The implants of the company Lifecore® were used most, followed by those of the company Dental Tech®.

In case of the implant length the group of 11.5 mm and 13 mm long implants was used by far most often.

Within the scope of the evaluations post surgical sensitivity disturbances appeared with a total of 6 patients and merely in one case a permanent sensitivity deficit was found. The temporary sensitivity disturbances were not detectable any more after the first 14 days post surgically. If one looks at these figures, a 2.3 percent likelihood of a limited in time sensitivity loss arises from it. However, the likelihood really, permanent nervous damage decreased to 0.46 percent.

Nevertheless, in consideration of the low distance between the implants and the mandibular canal of an average 2mms the complication rate of nerve lesions is rather low from a surgical point of view. This is attributed, above all, to the intraoperative diagnostic assessment of the vertical bone height with the help of the conventional panoramic radiography measuring the individual enlargement factor.

2. Einleitung

Die Versorgung des Lückengebisses mit Zahnersatz ist durch den Einsatz dentaler Implantate revolutioniert worden. Dadurch konnte eine erhebliche Verbesserung der Kaufunktion erzielt werden. Durch die Einführung der Implantologie in die zahnärztliche Prothetik eröffneten sich völlig neue Möglichkeiten. Die Versorgung mit festsitzendem Zahnersatz, zum Beispiel im zahnlosen Unterkieferseitenzahnggebiet, ist realisierbar geworden. Im zahnlosen Unterkiefer kann mittels implantatgestützter Prothesen ein erheblich verbesserter Halt erreicht werden. Eine Schließung von Zahnücken ist ohne Beschleifung gesunder Nachbarzähne möglich. Bei ausgedehnten Knochendefekten nach Unfällen und Tumorresektionen ist durch Implantatversorgung eine Wiederherstellung der Kaufunktion ermöglicht worden. Sogar in der Kieferorthopädie haben Implantate bereits ihren Platz gefunden. Präprothetisch-orthodontische sowie orthodontische Behandlungen bei Kindern und Erwachsenen werden unter Verwendung spezieller Implantate, sog. Orthoimplantate, als Verankerungselemente für kieferorthopädische Geräte durchgeführt.

Die intraoralen Gegebenheiten stellen jedoch eine Vielzahl von Ansprüchen an Implantate, präoperative Diagnostik und operative Technik. So stellt sich gerade im Unterkieferseitenzahnbereich das Problem der Implantation in unmittelbarer Nähe des Nervus alveolaris inferior. In der Literatur werden verschiedene Verfahren beschrieben um das Risiko einer Nervverletzung zu minimieren, beziehungsweise möglichst auszuschließen.

2.1. Zielsetzung der vorliegenden Arbeit

Thema der vorliegenden Arbeit ist es, durch Auswertung entsprechender Röntgenaufnahmen herauszufinden, welche Bedeutung eine intraoperativ angefertigte Panoramaröntgenmessaufnahme bei der Implantation im Unterkieferseitenzahnggebiet, bezüglich der Schonung des Nervus alveolaris inferior in der dentalen Implantologie hat. Es sollen von etwa 200 inserierten Implantaten, die intra- und postoperativ angefertigten Röntgenaufnahmen vermessen werden und die Ambulanzkarten bezüglich möglicher postoperativer Sensibilitätsstörungen, deren Häufigkeit und postoperativer Verlauf ausgewertet werden.

2.2. Anatomische Grundlagen

Bei dem winkelförmig gebauten Unterkiefer (Mandibula, lat. mandere = kauen) bezeichnet man den horizontalen Teil mit dem zahntragenden Alveolarfortsatz als Corpus mandibulae (Körper), den zum Kiefergelenk aufsteigenden Teil als Ramus mandibulae (Ast). Das Foramen mandibulare bildet die Eintrittsstelle von Nervus, Arteria und Vena alveolaris inferior in den Unterkiefer beziehungsweise Mandibularkanal, in dem Gefäße und Nerv kinnwärts verlaufen. Dabei gibt der Nervus alveolaris inferior jeweils Äste an die Unterkieferzähne und die umgebenden Weichteile ab und tritt als Nervus mentalis im Foramen mentale wieder aus, um Unterlippe und Kinnregion der jeweiligen Seite sensibel zu versorgen (LIPPERT, 2003).

2.2.1. Röntgenanatomie in der Panoramaschichtaufnahme

Im Seitenzahnbereich des Unterkiefers interessiert vor allem die Lage des Mandibularkanals, da bei Atrophie des zahnlosen Alveolarfortsatzes das vertikale Knochenangebot begrenzt ist. Die Darstellung ist abhängig von der Ausbildung der kortikalen Grenzlamelle. Auf der Panoramaschichtaufnahme ist eine kraniale und eine kaudale Lamelle sichtbar, die kaudale meist durchgehend vom Foramen mandibulare bis zum Foramen mentale. Am kranialen Rand des Kanals ist sie schwächer ausgebildet und oft nicht durchgehend zu erkennen. Fehlt diese Knochenlamelle ist die

röntgenologische Beurteilung der kranialen Begrenzung des Mandibularkanals schwierig.

Am Foramen mentale macht der Kanal eine mehr oder weniger ausgebildete Schleife nach mesial, die vor allem bei der interforaminalen Implantation beachtet werden muss (DÜKER, 2000).

Deshalb schlagen Bock und Kent (1990) nach Auswertung einer prospektiven Studie von 772 Implantaten eine Sicherheitszone um das Foramen mentale vor (HOFFMEISTER et al. 1994).

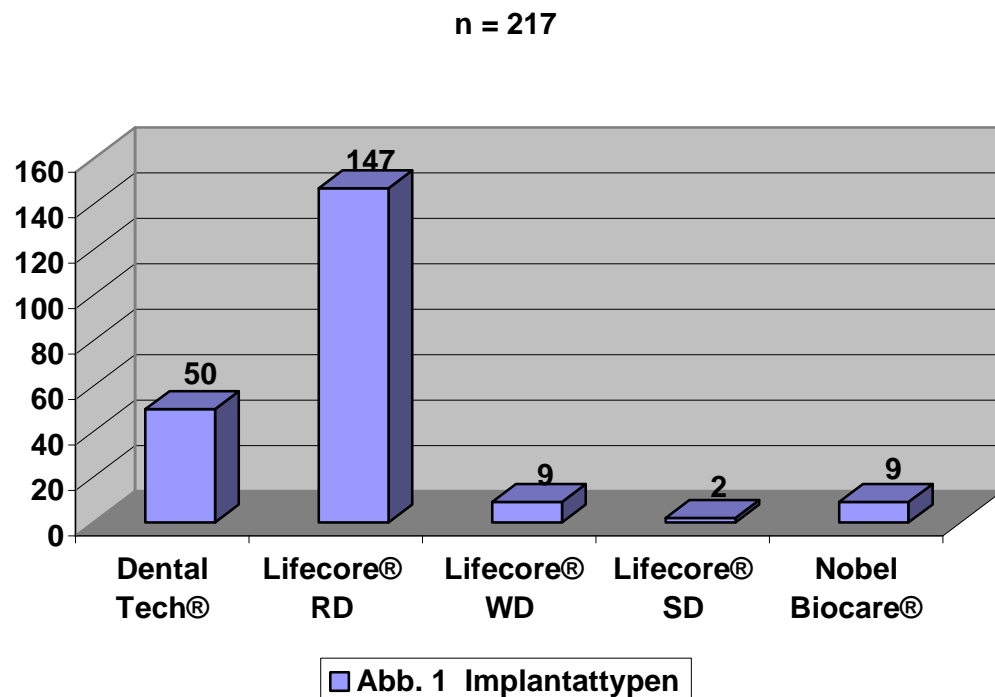
3. Material und Methodik

3.1. Verwendete Implantatsysteme

Seit den fünfziger und sechziger Jahren des letzten Jahrhunderts hat sich die enorme Implantationstechnik mit rotationssymmetrischen Implantaten aus Titan weitgehend etabliert.

Die Industrie hat verschiedene Implantat-Designs und Plattformen mit entsprechenden Aufbauten entwickelt. Zu Beginn standen für die Prothetik standardisierte Aufbauten zur Verfügung, die später durch individualisierbare (z. B. mit CAD/CAM Technik) ergänzt wurden. Die Varianten der Implantatformen, Abutments und Verbindungstechniken werden mit steigender Zahl der Anbieter jedoch immer ähnlicher.

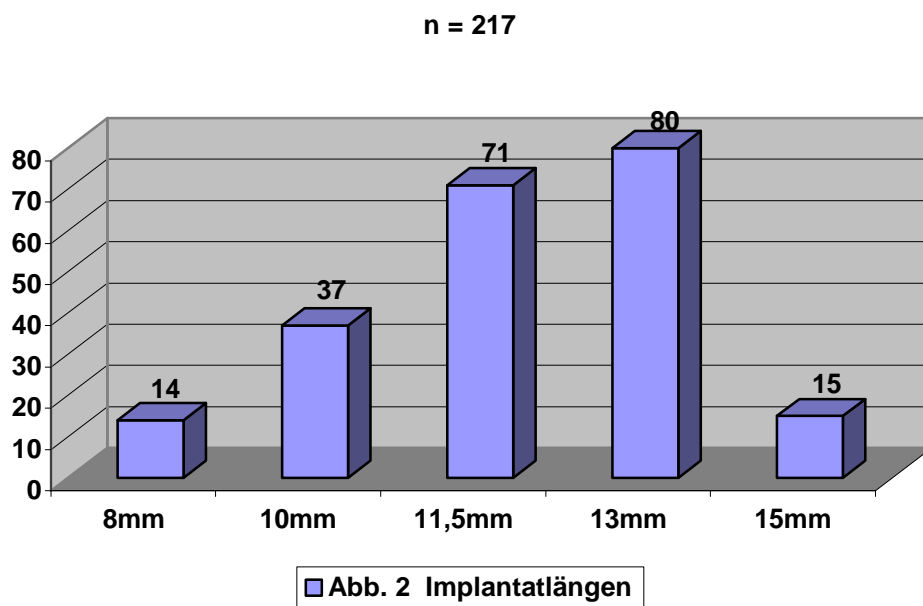
Bei den im Klinikum Saarbrücken im Nachuntersuchungszeitraum von 1999 bis 2006 überwiegend verwendeten Implantatsystemen handelt es sich um Schraubenimplantate vom zweiteiligen Typ der Firmen Lifecore®, Dental Tech® und Nobel Biocare® (Abb. 1).



Mit einer subgingivalen Einheilphase sind die zweiteiligen Implantate für alle Implantatindikationen (Front-/Seitenzahnbereich) geeignet.

Wichtig für eine Nervannäherung beziehungsweise –Schonung sind neben dem Implantatdurchmesser, vor allem die Implantatlängen. Die Implantate sind in den Längen 8mm, 10mm, 11,5mm, 13mm, 15mm und 18mm erhältlich, wobei in der vorliegenden Arbeit lediglich die Implantatlängen von 8 bis 15mm verwendet wurden. Die Implantate der Länge 11,5mm und 13mm wurden mit Abstand am häufigsten verwendet (Abb. 2).

Daraus kann man schon auf das in der Regel begrenzte Knochenangebot im Unterkieferseitenzahngebiet schließen.



3.2. Röntgendiagnostik und -kontrolle

Die präimplantologische Röntgendiagnostik wird in der Regel mit Hilfe von Panoramaröntgenaufnahmen durchgeführt.

Die Panoramaschichtaufnahme eignet sich besonders gut für die Darstellung der Alveolarfortsätze, da die Zähne und die zahnlosen Abschnitte annähernd mit Paralleltechnik abgebildet werden und damit die Verzeichnung in der Vertikalebene gering ist.

Des Weiteren lassen sich, die für die Implantation wichtigen angrenzenden Strukturen, wie Mandibularkanal, Foramen mentale, Kieferhöhlenboden, Kieferhöhle und Nasenboden beurteilen. In der Horizontalebene wird, soweit der Kiefer der Norm des Gerätes entspricht, eine orthoradiale Projektion erreicht (DÜKER, 2000).

Eine über die Jahre notwendige Verlaufskontrolle ist mit der Panoramaschichtaufnahme ebenfalls gut möglich, da sich bei sorgfältiger Positionierung des Patienten die Aufnahmen durchaus vergleichen lassen und somit eine Befundänderung frühzeitig auffällt.

Unbedingt zu beachtende Nachteile dieses Verfahrens liegen

- in positionsbedingten Verzerrungen (fehlerhafte Einstellungen, nicht korrekte Positionierung des Patienten)
- darin, dass reproduzierbare Aufnahmen eines Patienten nur begrenzt möglich sind, weil es kaum gelingt, den Patienten bei Wiederholungsaufnahmen exakt in die gleiche Position wie bei der Erstuntersuchung zu bringen (DÜKER, 2000)
- in der Tatsache, dass es sich lediglich um 2-dimensionale Schichtaufnahmen handelt. Hierbei wird lediglich die horizontale und die vertikale Dimension dargestellt, die transversale Dimension bleibt dabei außen vor
- in der Abbildung des Limbus alveolaris als knöcherne Begrenzung des Alveolarknochens nach kranial, ohne dabei eine Aussage über die anatomisch exakte Ausformung des Alveolarkamms an sich zu machen (ein spitz zulaufender Limbus suggeriert eine implantologisch nicht verwertbare Höhe, wird aber als solche dargestellt und röntgenologisch vermessen)

- sowie in gerätetypischen Vergrößerungen des Röntgenbildes gegenüber der tatsächlichen klinischen Situation mit einem Faktor von 1:1,2 bis 1,7 (SPIEKERMANN, 1994 / DÜKER, 2000). Man kann deshalb davon ausgehen, dass die Panoramaschichtaufnahme in der horizontalen Dimension im Durchschnitt um 30-70% und in der vertikalen Dimension etwa 20-30% größer ausfällt, als es der tatsächlichen klinischen Situation entspricht (SPIEKERMANN, 1994)
- darin, dass bei dem Bewegungsablauf der Panoramatechnik der Abstand Fokus-Objektiv zu Objekt-Film nicht überall gleich ist, und dadurch der Vergrößerungsfaktor auf der Panoramaschichtaufnahme nicht konstant bleibt (DÜKER, 2000).

3.2.1. Kugelmessaufnahme

Um die oben erwähnten Bedenken und Nachteile der Panoramaschichtaufnahme auszugleichen, wird die Eingliederung von Bisschablonen mit fixierten Metallkugeln während der Herstellung der Aufnahme empfohlen.

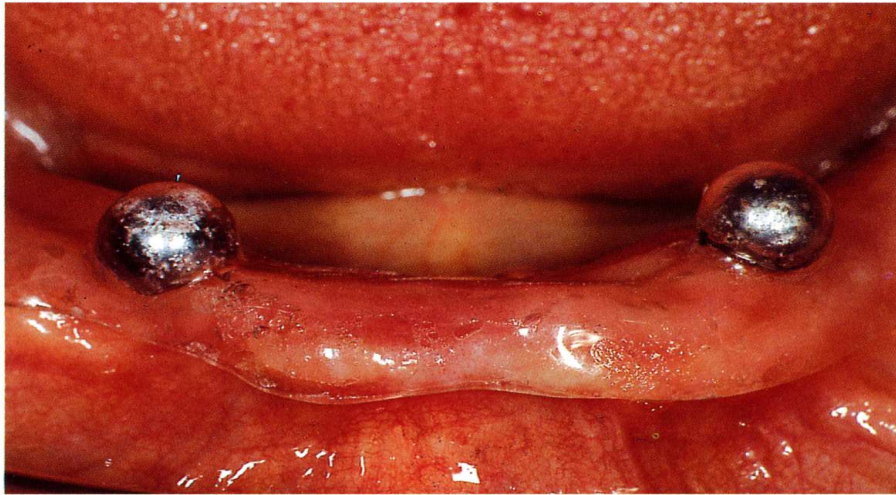


Abb. 3a Mit Metallkugeln versehene Röntgenschablone (intraoral) [1]

Die Metallkugeln definierten Durchmessers, meist 5 mm, können ebenso wie der Knochen auf der Röntgenaufnahme vermessen werden und aufgrund ihres bekannten Durchmessers kann mit Hilfe des einfachen Dreisatzes die tatsächliche Knochenhöhe ermittelt werden (DÜKER, 2000).

$$\frac{\text{Abstand-real}}{\text{Abstand-OPT}} = \frac{\text{Durchmesser-real}}{\text{Durchmesser-OPT}}$$

$$\text{Abstand-real} = \text{Abstand-OPT} \times \frac{\text{Durchmesser-real}}{\text{Durchmesser-OPT}}$$

Abstand-real stellt den für die Bestimmung der Implantatlänge relevanten Abstand zwischen Kieferkamm und Mandibularkanal dar (SPIEKERMANN, 1994).

Eine mit Metallkugeln versehene Röntgenschablone (Abb. 3a/b [1]) wird entweder im Tiefziehverfahren oder aus Kaltpolymerisat hergestellt. Sie können als einfache Platten zur Diagnostik im Seitenzahnbereich als provisorische Brücken oder Prothesen gestaltet werden. Dabei sollten die Metallkugeln möglichst nah am späteren Implantationsort platziert werden, um eine möglichst exakte Vermessung des Knochenangebots am Implantationsort gewährleisten zu können.

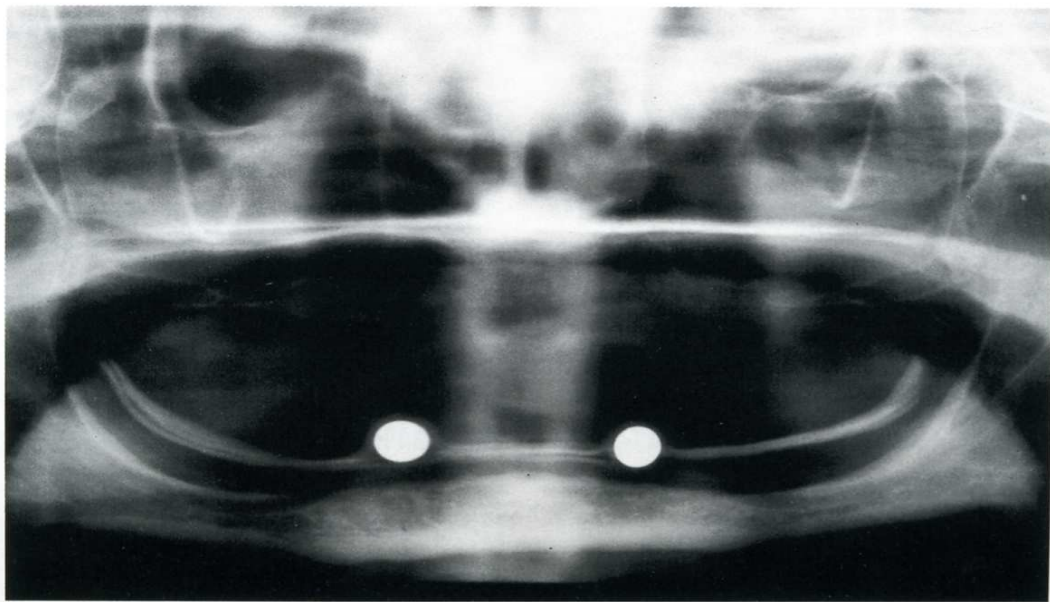


Abb. 3b Panoramaaufnahme mit einer Kugelmeßschablone [1]

3.2.2. Mittelwertschablonen

Die für einige Implantatsysteme zur Verfügung stehenden Mittelwertschablonen stellen in kritischen Fällen mit geringem Knochenangebot keine wirkliche Alternative dar. Es handelt sich um Schablonen, mit aufgezeichneten Implantatumrissen mit unterschiedlichen Maßstäben von 1:1,3 bis 1:1,7, die auf das präoperativ angefertigte PSA aufgelegt werden. Sie können als zusätzliche diagnostische Hilfe zur Auswahl und Positionierung der Implantate in Fällen mit reichlich Knochenangebot dienen. Jedoch liefert diese Art der Vermessung lediglich Annäherungswerte (SPIEKERMANN, 1994). So wird bei Annäherung eines Implantates an den Nerv nach Ausmessung mit einer Schablone näher als 3 mm an eine gefährdete anatomische Struktur (z.B. Nervus alveolaris inferior) ein exakteres Messverfahren gefordert (HARTMANN, 1993).

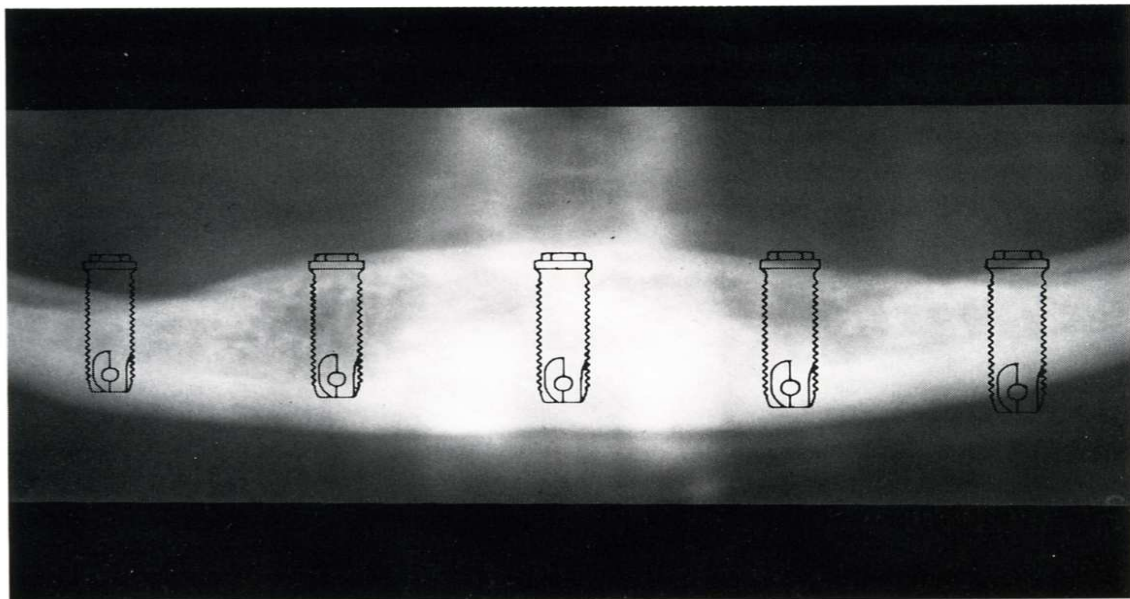


Abb. 4 Auf PSA aufgelegte Mittelwertschablone [2]

3.2.3. Computertomographie

Seit der Erfindung der Computertomographie, durch Sir Godfrey Newbold Hounsfield 1976, besteht die Möglichkeit, den für die Implantation relevanten zahnlosen Kieferbereich in verschiedenen Schichten darzustellen, das heißt man kann den für den Implantationserfolg wichtigen Aspekt, den Verlauf des Nervus alveolaris inferior, dreidimensional darstellen.

Die Grundlage des Computertomogramms bilden stets die horizontalen Schichtungen des gesamten Kiefers in Abständen von 1-2 mm, bei einer konstanten Vergrößerung von 1:1, unabhängig von der Einstellung des Patienten. Bei diesem sogenannten Spiral-CT umkreist der Strahler in einer spiralförmigen Bewegung mehrmals den Kopf des Patienten (Abb. 5 [3]). Eine spezielle Software (z.B. Denta-Scan) wertet die horizontalen Schichten aus und errechnet vertikale Schnittbilder in frei wählbaren Distanzen (z.B. alle 2 mm) (KAEPPLE, 2001).

Nach Anfertigung einer transparenten Kunststoffschiene, auf einem individuell gefertigten Sägemodell, werden entsprechend der Alveolarkammmitte Titanhülsen in diese Schablone eingebracht, die die Lage der geplanten Implantate bzw. deren Bohrrichtung darstellen. Danach wird mit intraoral eingesetzter Schablone ein Computertomogramm erstellt. Bei der anschließenden Auswertung lässt sich die genaue Lage der Titanhülsen in Bezug zu anatomischen Strukturen und der geplanten prothetischen Versorgung beurteilen. Es stellen sich folgende Fragen: Liegt die Achsenrichtung des geplanten Implantats genau im Lumen der Hülse? Ist das Knochenangebot ausreichend? Ist die Knochenqualität zufriedenstellend? Tangiert das Implantat, mit entsprechender geplanter Länge, keine anatomisch relevanten Strukturen wie Nerven oder Nasennebenhöhlen, so kann die Hülse unkorrigiert belassen werden. Muss das Implantat aus besagten Gründen eine andere Lage einnehmen, so lässt sich die Distanz und Winkelung zur Hülse aus dem Programm errechnen und die Hülse wird anschließend nach dieser Messung entsprechend korrigiert. Dabei ist darauf zu achten, dass sich der Durchtrittspunkt des Implantats am Knochen, das sogenannte „Emergence Profil“, bei der Implantation exakt unter der geplanten prothetischen Situation befindet. Durch die präzise Knochenprofilanalyse, aus den im CT gewonnen Daten über Knochenangebot, Knochenqualität und angrenzende anatomische Strukturen, sind

Hülsenkorrekturen, wenn überhaupt, nur noch in geringem Umfang nötig. Dadurch wird die Übertragungssicherheit des Systems deutlich erhöht. Nunmehr entsprechen die Hülsen der Schablone genau der Bohrrichtung für die geplanten Implantate in dreidimensionaler Darstellung. Außer den robotergesteuerten Navigationssystemen, die vorwiegend in der Neurochirurgie und Orthopädie angewendet werden, gibt es derzeit keinen Planungsmodus mit dieser hohen Genauigkeit (RICHTER, SCHMOLL, 2001).

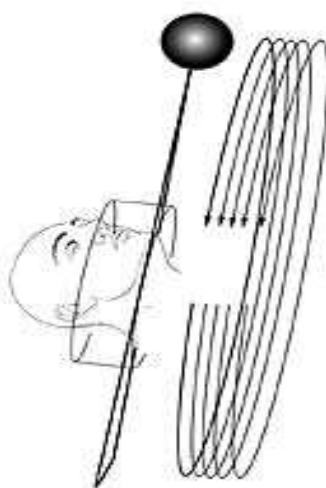


Abb. 5 Funktionsprinzip der Spiral-Computertomographie [3]

Da die Herstellung eines CT als relativ aufwendig und kostenintensiv anzusehen ist, wird diese Technik nur empfohlen, wenn aufgrund besonders schwieriger anatomischer Verhältnisse unbedingt zusätzliche Informationen notwendig sind.

Außerdem ist die erhöhte Strahlenbelastung bei der Computertomographie von 2,5 mSv, im Vergleich zu einem Orthopantomogramm von 0,03 mSv bzw. zu einer Digitalen Volumentomographieaufnahme von 0,49 mSv, zu erwähnen und somit eine individuelle Nutzen-Risiko-Abschätzung (rechtfertigende Indikation) erforderlich (SCHULZE, 2005). Schulze stellt in seiner wissenschaftlichen Auswertung folgende Formel zur Relation zwischen den einzelnen Verfahren vor.

$$\begin{aligned}
 & \text{Effektive Dosis CT} \\
 & = \\
 & 10 \times \text{effektive Dosis DVT} \\
 & = \\
 & 100 \times \text{effektive Dosis OPT}
 \end{aligned}$$

Zum Thema Strahlenexposition gibt es mittlerweile zahlreiche Veröffentlichungen die jedoch durch eine differente Messmethodik und eine differente Bewertung des exponierten Gewebes zu durchaus unterschiedlichen Werten kommen können (SCHULZE, 2005).

Berücksichtigt werden sollte auch, das mit der Strahlenbelastung verbundene Risiko von gesundheitlichen Spätfolgen.

Die Wahrscheinlichkeit für einen Strahlenschaden liegt bei $7,3 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ (EUROPEAN GUIDELINES ON RADIATION PROTECTION, 2004).

Die Europäische Kommission hat 2004 Richtlinien zum Strahlenschutz für das zahnärztliche Röntgen und dabei das strahleninduzierte Krebsrisiko benannt (Abb. 6 [4]). Es wird gezeigt, dass mit steigender Strahlendosis das Risiko einer Krebserkrankung zunimmt.

X-ray technique	Effective dose (μSv)	Risk of fatal cancer (per million)	References
Intraoral radiograph (bitewing/periapical)	1 - 8.3	0.02 - 0.6	(5, 6, 9, 13, 21, 24, 26)
Anterior maxillary occlusal	8	0.4	(9)
Panoramic	3.85 - 30	0.21 - 1.9	(7, 9, 11, 14, 17, 18, 21, 26)
Lateral cephalometric radiograph	2-3	0.34 [#]	(12, 14, 20, 21, 25)
Cross-sectional tomography (single slice)	1 - 189	1 - 14	(8, 9, 11, 23)
CT scan (mandible)	364 -1202	18.2 - 88	(9, 10, 23)
CT scan (maxilla)	100 - 3324	8 - 242	(9, 10, 23)

(5): Data derived for single intraoral film by halving figures to allow for E-speed film and by dividing original data for full mouth survey by 19. No adjustment made for high kV (90) used in this study.

(6): Data derived for single intraoral film by halving figures to allow for E-speed film and by dividing original data for full mouth survey by 19. No adjustment made for high kV (90) used in this study.

(26): White excluded salivary glands from consideration in dose and risk estimations, accounting for lower figures. His data for intraoral radiography are derived by halving figures to allow for E-speed film and by dividing original data for full mouth survey by 20.

[#]Based upon risks to brain, salivary glands and thyroid gland only.

Abb. 6 Risiko einer Krebserkrankung in Abhängigkeit von der Strahlendosis [4]

3.2.4. Digitale Volumentomographie (DVT)

Die digitale Volumentomographie basiert auf der konventionellen Röntgentechnik.

Die Qualität der volumentomographischen Bilder ermöglicht eine eindeutige Darstellung des Nervus alveolaris inferior in allen drei Schnitt- und Bildebenen.

Es sind exakte räumliche Darstellungen der Kieferknochen möglich, die gegenüber vergleichbaren Untersuchungen mit der Computertomographie durch eine wesentlich geringere Strahlenexposition für den Patienten und durch erheblich geringere Artefakt-Figuren (Bildfehler) bei Metall-Füllungen und prothetischen Versorgungen charakterisiert sind.

Im Unterschied zur CT verwendet die DVT ein Bildempfängersystem, das aus einem Bildsensor der Matrix 512x512 Pixel mit nachgeschalteter CCD-Kamera besteht. Während des Aufnahmevorganges bewegen sich die Röntgenröhre und der Bildempfänger (um 180 Grad zueinander versetzt montiert) einmal 360 Grad um den Patienten. Durch ein kegelförmiges Strahlenbündel („cone beam“) wird das gesamte Aufnahmeareal bei einem einzigen Umlauf erfasst. Dabei wird alle 1 Grad eine Projektionsradiographie der im Strahlengang gelegenen Region angefertigt. Der gesamte Aufnahmevorgang dauert 76 Sekunden. Die so gewonnenen 360 Einzelprojektionen bilden den Rohdatensatz, welcher mittels des mathematischen Algorithmus der gefilterten Rückprojektion in axiale Schichten (Schichtstärken von 0,3, 1 oder 2mm möglich) umgewandelt wird. Dieser Rechengang benötigt für eine komplette Unterkieferrekonstruktion weniger als 5 Minuten und liefert Bilder, die in etwa denen der Spiral-CT entsprechen (HÜMMEKE et al. 2003).

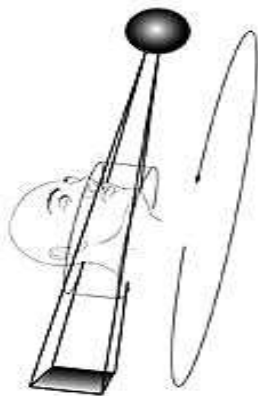


Abb. 7 Funktionsprinzip der Digitalen Volumentomographie (DVT) [3]

Das Verfahren ist im Vergleich zur Panoramaschichtaufnahme allerdings mit einer höheren Strahlenbelastung verbunden, bietet aber die gleiche dreidimensionale Rekonstruktionsmöglichkeit wie das CT. Gegenüber der Computertomographie weist die digitale Volumentomographie jedoch eine erheblich geringere Strahlenbelastung auf. Die digitale Volumentomographie kann zudem unmittelbar durch den Behandler benutzt werden, da sie gemäß Röntgenverordnung, nach Erwerb der entsprechenden Fachkunde, in der zahnärztlichen Praxis unabhängig vom Radiologen betrieben werden darf. Bei der digitalen Volumentomographie wird die Strahlenbelastung im Vergleich zur Computertomographie, um 76 Prozent reduziert, ohne Qualitätseinbußen im Sinne von klinischer Auswertbarkeit zu verursachen [Ziegler et al. 2002]. Die Untersuchungen von Möbes und Mitarbeiter aus dem Jahre 2000 haben mit Hilfe von Thermolumineszenzdosimetern die Maximalwerte der Strahlenemission von der Computertomographie, der digitalen Volumentomographie und dem Orthopantomogramm gemessen. Bei der Computertomographie ergeben sich Werte von 23 Milligray. Im Vergleich dazu weisen die digitale Volumentomographie 4,2 Milligray und das Orthopantomogramm 0,65 Milligray im Bereich des Kieferwinkels auf (HEURICH, 2003). Die Strahlenbelastung, die von der digitalen Volumentomographie ausgeht, liegt damit etwa beim Zehnfachen gegenüber dem Orthopantomogramm (VOSSHANS et al. 1995).

Abgesehen von der geringeren Strahlenbelastung der DVT gegenüber der CT ergeben sich für die Implantologie keine wesentlichen Unterschiede der beiden Untersuchungstechniken, insbesondere für die Fragestellung in der vorliegenden Arbeit.

3.2.5. Navigationsgesteuerte Implantologie

Navigation bedeutet die gezielte Ausrichtung und Bewegung der bekannten Implantationsinstrumente.

Navigationssysteme, wie zum Beispiel das System von RoboDent®, stehen noch am Anfang ihrer Entwicklung. Sie haben zum Ziel auf der Basis exakter Planungsdaten ein planungsidentisches Ergebnis am Patienten zu erreichen. Vorteile eines solchen Systems sind Präzision, Risikovermeidung, bessere Funktionalität und ein geringeres Weichteiltrauma. Diese Vorteile müssen allerdings mit einem deutlich höheren Kosten- und Zeitaufwand, sowie einer höheren Abhängigkeit von der Technik erkaufte werden (HARTMANN, 2003).

Nach der Abformung der Situation im Patientenmund erstellt der Zahntechniker eine röntgenopake Navigationsschiene, welche mit einem systemspezifischen Navigationsbogen verbunden wird. Mit diesen Schienen wird sowohl ein CT als auch eine digitale Volumentomographie durchgeführt. Die daraus erhaltenen Daten werden gebündelt und von der Planungssoftware des Navigationssystems ausgewertet. Die Implantate können nun anatomisch korrekt und prothetisch funktionell ausgerichtet und anschaulich in allen Ebenen per Touchscreen lokalisiert und positioniert werden.

Nachdem die Planung am Bildschirm abgeschlossen ist, kann mit der computergesteuerten Instrumenten-Navigation begonnen werden. Über ein Touchscreen (Abb. 8a [5]) bekommt der Operateur eine visualisierte Darstellung des Chirurgie-Winkelstücks.

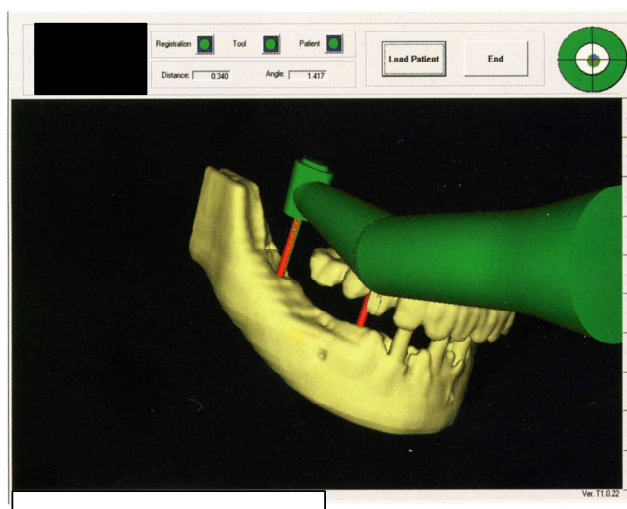


Abb. 8a [5]

Über ein Mini-Display (Abb. 8b [5]) kann man, mit Hilfe eines Fadenkreuzes, die Lage von Bohrspitze und -schaft für die geplante Bohrlochlokalisation ausrichten.

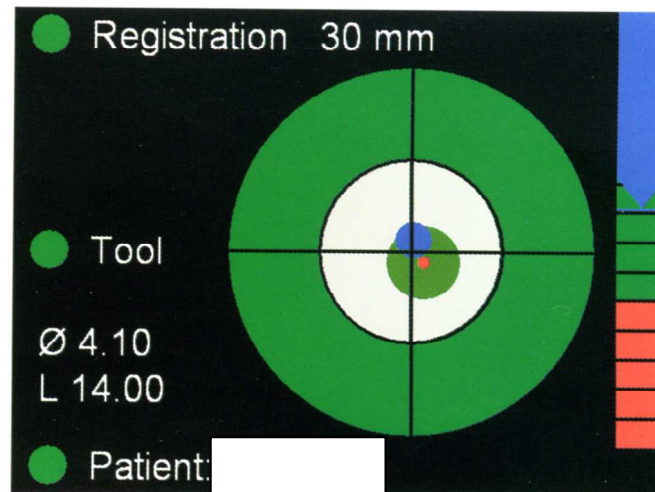


Abb. 8b Intraoperative Darstellung der Bohrerposition [5]

3.2.6. Die intraoperativ angefertigte Röntgenmessaufnahme mittels Panoramaschichtaufnahme

Im Klinikum Saarbrücken wird nach eingehender klinischer Untersuchung zunächst eine aktuelle Panoramaschichtaufnahme sorgfältig ausgewertet und vermessen. Anhand dieser Röntgenaufnahme wird die Implantatlänge mittels einer Mittelwertschablone, auf der die verschiedenen möglichen Vergrößerungen durch die PSA berücksichtigt werden, annähernd ermittelt. Bei der Implantation wird nach Festlegung der Implantatposition, bei geringem Knochenangebot mit Hilfe einer Bohrschablone und Pilotbohrung, ein Parallelisierungsstift beziehungsweise Richtungsindikator, Referenzlänge 8mm oder 10mm, je nach vertikalem Knochenangebot in den Knochen eingebracht.

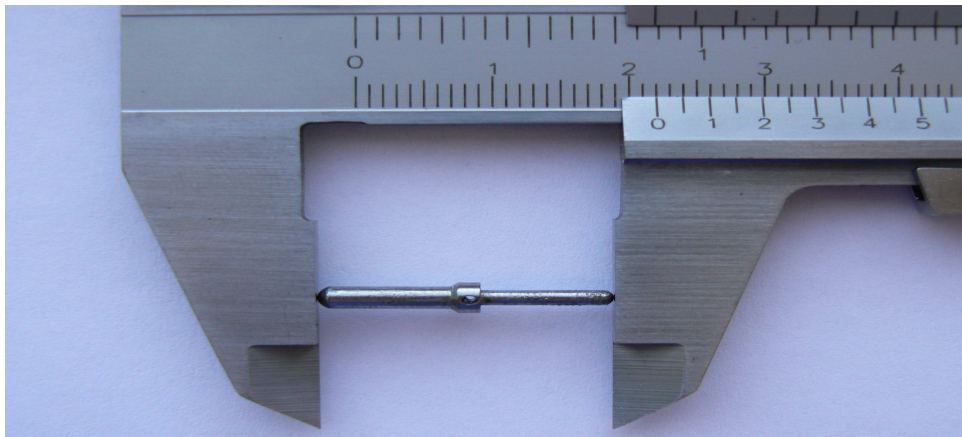


Abb. 9a Langer Parallelisierungsstift, Referenzlänge 10mm [6]

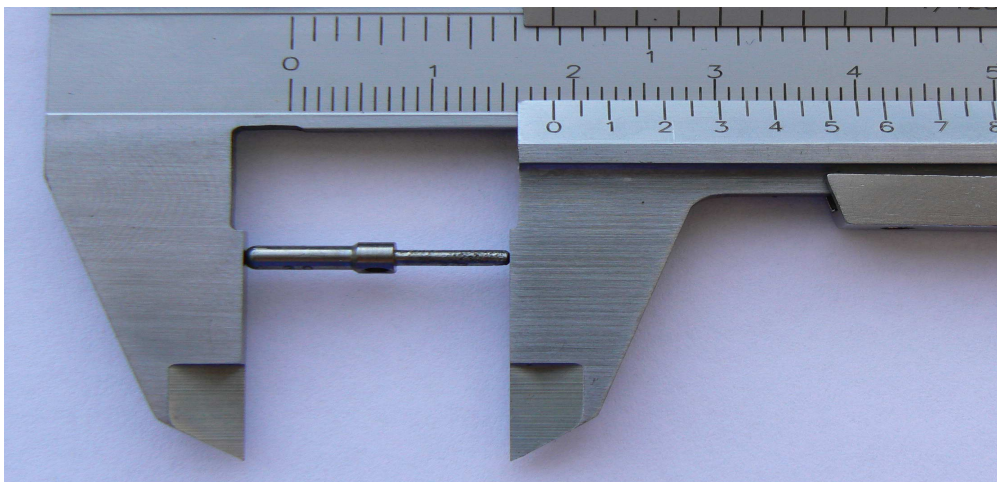


Abb. 9b Kurzer Parallelisierungsstift, Referenzlänge 8mm [6]

Dieser Stift, mit einer Länge von 10 mm (Abb. 9a [6]) oder 8 mm (Abb. 9b [6]), hat einen Referenzring, der exakt mit der Knochenoberkante abschließen soll. Mit dem oder den Stiften in situ wird intraoperativ eine PSA-Messaufnahme angefertigt, wie man es prinzipiell aus der Endodontie kennt (Abb. 10a [7]). Die definierte Länge des Parallelisierungsstifts von 10 mm oder 8 mm, lässt nun eine Berechnung zu, entsprechend den Kugelmessaufnahmen, wie oben beschrieben.

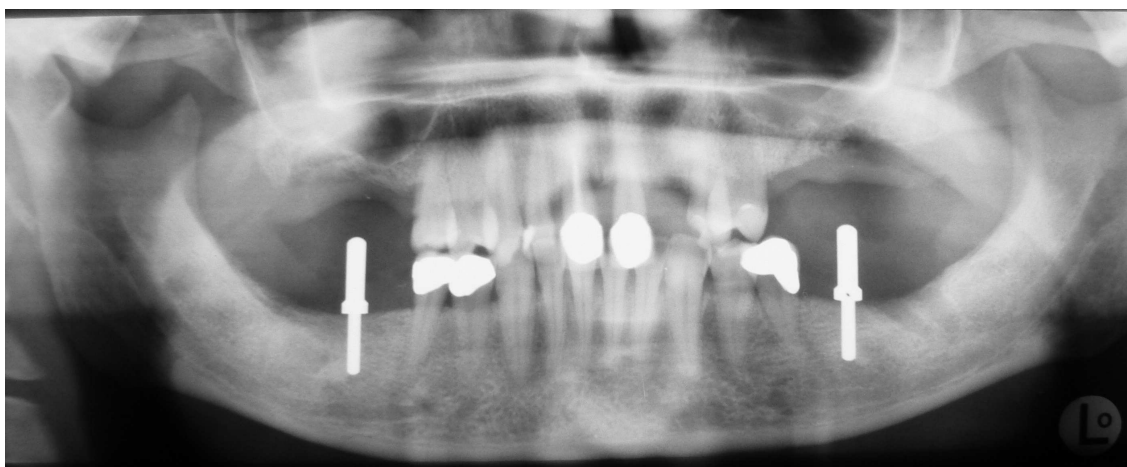
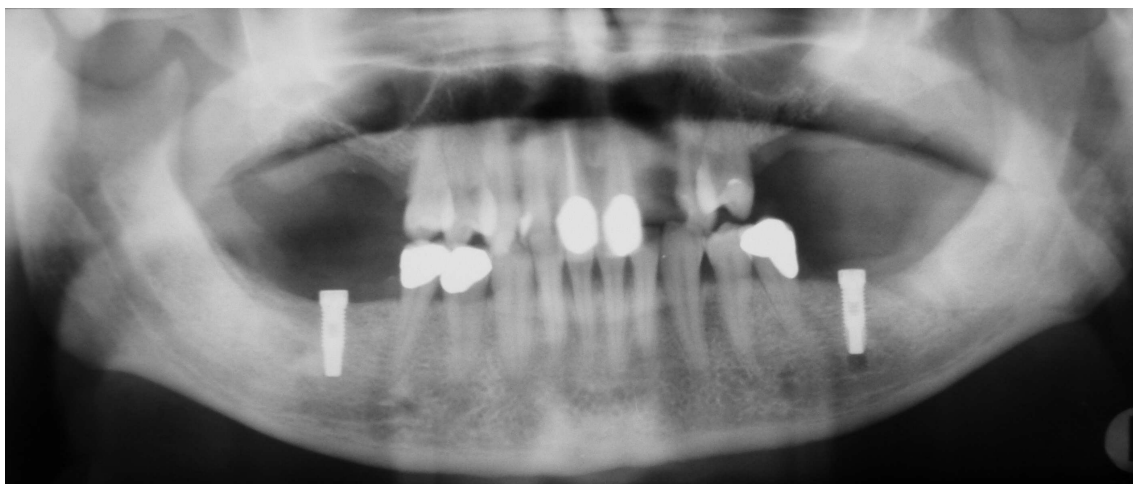


Abb. 10a Intraoperative Messaufnahme [7]

Insbesondere kann der Abstand zu anatomisch kritischen Strukturen (vor allem zum Nervus alveolaris inferior und zum Foramen mentale) sehr genau berechnet und danach die exakte Implantatlänge bestimmt werden. Dadurch, dass man nur noch die mehr oder weniger kurz Distanz zwischen unterem Ende des Richtungsindikators und dem Nerv ausmessen muss, wird diese Messung noch genauer und sicherer, als zum Beispiel bei den Ausmessungen einer Kugelmessaufnahme. Des Weiteren verbessert sich die Genauigkeit der Messung dadurch, dass ja bereits durch die Richtungsindikatoren die Implantatposition und Richtung weitgehend vorbereitet ist, und somit genau an der richtigen Stelle gemessen wird. Der Vergrößerungsfaktor wird jeweils individuell über die radiologisch gemessene Pfostenlänge, dividiert durch die tatsächliche Pfostenlänge, bestimmt. Außerdem können die individuell sehr unterschiedlichen Verhältnisse auf dem Kieferkamm wie Knochendefekte, schmale Kieferkämme usw. bei der Festlegung der endgültigen Implantatlänge berücksichtigt werden. Denn wie auch bei anderen präimplantologischen Messmethoden (Mittelwertschablone, Kugelmessaufnahme etc.)

stellt sich auch hier die Problematik eines spitz zulaufenden Limbus alveolaris. Knochenhöhe die eigentlich nicht in der implantologisch nutzbaren Höhe vorhanden ist, wird dennoch als solche röntgenologisch dargestellt. Bei ausreichender vertikaler Kammhöhe wird im Normalfall der spitz nach kranial zulaufende Limbus soweit eingekürzt, bis dann auch die üblicherweise 3,3 oder 3,75 mm starken schraubenförmigen Implantate versenkt werden können, ohne nach lingual oder labial zu perforieren (WATZEK, 1993). Während man bei anderen Messverfahren darauf nur schwer reagieren kann, findet bei der intraoperativen Panoramamessaufnahme die Messung der eigentlichen Nutzhöhe erst nach der Lagerbildung und Pilotbohrung statt, so dass hier der Messfehler nicht weiter verschleppt wird. Beim Einbringen der Implantate muss bei unregelmäßigen Kieferkammverhältnissen natürlich darauf geachtet werden, dass die Implantate nicht zu tief gesetzt werden. Falls Richtungsänderungen der Implantatposition erforderlich sind, sind diese aber dennoch in gewissem Umfang möglich um die Implantatposition zu verbessern.

Man setzt das Implantat in der durch die Panoramaschichtaufnahme bestimmten Länge und kontrolliert anschließend in einer weiteren PSA-Aufnahme den korrekten Sitz des Implantats und dessen Lage zum Nervus alveolaris inferior (Abb. 10 b [7]).



**Abb. 10b Postoperative Kontrollaufnahme,
Bohrung auf der linken Seite deutlich tiefer, als Implantatlänge [7]**

Obwohl man mit diesem relativ einfachen und kostengünstigen Verfahren auch nur eine zweidimensionale Orientierung zur Lagebestimmung von anatomischen Strukturen und Implantatposition hat, hat es sich in der Praxis bisher gut bewährt. In schwierigen Fällen könnte präoperativ zusätzlich noch ein digitales Volumentomogramm oder ein Computertomogramm angefertigt werden.

3.3. Risiken und Komplikationen

Eine Implantation umfasst zahlreiche Einzelschritte. Sie beginnt mit der Patientenauswahl und -aufklärung und der präoperativen klinischen und röntgenologischen Diagnostik. Es folgt die chirurgische Insertion des Implantates und die sich daran anschließende Heilungsphase. Nach der Implantatfreilegung, Abformung und Fixierung der prothetischen Aufbauten erfolgt die prothetische Versorgung. Den Abschluss bildet eine über viele Jahre sich fortsetzende Nachsorge. Zu jedem Zeitpunkt dieser Behandlung können Probleme und Komplikationen auftreten.

Mögliche Komplikationen könnten wie folgt eingeteilt werden.

- Prothetische Komplikationen
- Chirurgische Komplikationen
 1. Intraoperative Komplikationen
 2. Postoperative Komplikationen
 - a) Frühkomplikationen
 - b) Spätkomplikationen

Bei den intraoperativen Komplikationen sind Blutungen, Nervverletzungen, Eröffnungen der Kieferhöhle und Kieferfrakturen zu nennen.

Während Implantatlockerungen, Blutungen, Ödeme, Hämatome und Infektionen zu den frühen postoperativen Komplikationen zählen, sind chronische Schmerzen, eine chronische Sinusitis und periimplantäre Entzündungen den Spätkomplikationen zuzurechnen (SPIEKERMANN, 1994).

Eine besonders schwerwiegende Komplikation ist die Verletzung des Nervus mandibularis und Nervus mentalis mit der Folge einer permanenten Sensibilitätsstörung im Ausbreitungsgebiet der entsprechenden Nerven. Verletzungen des Nervus alveolaris inferior bei der Implantation, sollten deshalb möglichst durch entsprechende präoperative Planung, Diagnostik und sorgfältige Operationstechnik vermieden werden. Schon 1965 erkannte Steinhäuser das eine besonders vorsichtige Behandlung des Gefäßnervenbündels am Foramen mentale von entscheidender Bedeutung für die Prognose der Sensibilitätsstörungen sei (HOFFMEISTER et al. 1994). Die exakte Erfassung der anatomischen Strukturen, insbesondere des knöchernen Implantatlagere und der möglichst genauen Lageerfassung des Nervus alveolaris inferior sind wichtige

Voraussetzungen zur Vermeidung solcher Komplikationen. Nur bei Vorliegen eines Röntgenbildes oder einer Computertomographie, aus der sich einwandfrei der Verlauf des Mandibularkanals ermitteln lässt, ist eine Implantation im Unterkieferseitenzahnbereich zulässig (HOFFMEISTER et al. 1994). Eine Standardsituation liegt vor, wenn das gewählte Implantat am Orte der Implantation allseits von Knochen umgeben ist und bei entsprechendem Knochenangebot ein ausreichender Abstand von mehreren Millimetern zum Nerv problemlos eingehalten werden kann (HARTMANN, 1993).

Ursachen und Häufigkeit von Sensibilitätsstörungen nach Implantationen im Unterkieferseitenzahngebiet werden in der Literatur kontrovers diskutiert.

Das Risiko einer Sensibilitätsstörung des N. alveolaris inferior ist bei der enossalen Implantation im Unterkieferseitenzahnbereich mit 3,5 Prozent nicht unerheblich. Das Risiko der tatsächlichen, persistierenden Nervschädigung reduziert sich allerdings auf 1 Prozent (WINTER et al. 1995). In einer Auswertung von 40 Gutachten über Innervationsstörungen nach Implantationen konnten Tetsch und Strunz 1987 zeigen, dass in 36 von 40 Fällen mangelhafte Planung, unzureichende Diagnostik und ein unzureichender Sicherheitsabstand zum Mandibularkanal für die Nervläsion verantwortlich war (HOFFMEISTER et al. 1994).

Im Seitenzahnbereich des Unterkiefers können Sensibilitätsstörungen postoperativ durch ein ausgedehntes Wundödem oder Hämatom auftreten. Sie normalisieren sich fast immer mit Abklingen der Schwellung innerhalb weniger Tage bis Wochen. Jedoch sollte grundsätzlich röntgenologisch ein Implantat-Nervkontakt ausgeschlossen werden (SPIEKERMANN, 1994). Im Falle einer Nervkompression durch geringes Überschreiten des Mindestabstandes von den schon erwähnten 1 bis 2 mm kann durch Dekompression (Zurückziehen bzw. Rückdrehen des Implantats) die Verletzung ausheilen und beschwerdefrei enden. Bei ausgeprägten Schädigungen mit An- oder Durchbohren des Mandibularkanals und Dauerkompression des Nerven ist eine Rückbildung der Anästhesie, Parästhesie oder der neuralgiformen Beschwerden nicht zu erwarten (HARTMANN, 1993). Wenn sich das Implantat in der Röntgenkontrollaufnahme teilweise oder vollständig über den Mandibularkanal projiziert und am ersten Tag post-operativ eine Sensibilitätsstörung vorliegt, muss die Entfernung des Implantats dringend angeraten werden.

Um das Risiko einer Nervverletzung zu minimieren, wird immer wieder diskutiert, ob eine Leitungsanästhesie zugunsten einer submukösen Infiltrationsanästhesie unterlassen werden sollte, damit die Annäherung an den Nervus alveolaris inferior vom Patienten beim Präparieren des Implantatlagers intraoperativ bemerkt wird. Jedoch ist die Wirksamkeit und Penetration der heute verfügbaren Lokalanästhetika meist so, dass auch bei der Infiltrationsanästhesie meist eine völlige Ausschaltung der Sensibilität erreicht wird, so dass der Patient keine exakten Angaben machen kann, die als Kriterium für die Schonung des Nervus alveolaris inferior verwendet werden können (HARTMANN, 1993). In der vorliegenden Arbeit wurde zur Schmerzausschaltung im Operationsgebiet in allen Fällen eine Leitungsanästhesie mit terminaler Infiltrationsanästhesie vorgenommen.

4. Ergebnisse

4.1. Auswertung

Der Beobachtungszeitraum bezieht sich auf die Jahre 1999 – 2006.

Patienten mit Alveolarkammaugmentation, Unterkieferresection, Rekonstruktion, Nervtransposition, Tumorerkrankungen oder bereits präoperativ bestehenden Innervationsstörungen wurden bei der Auswahl des Patientengutes nicht berücksichtigt. Des weiteren konnten nur Patienten mit intraoperativ angefertigten Röntgenmessaufnahmen zur Auswertung herangezogen werden, das heißt Implantationen in Intubationsnarkose konnten nicht ausgewertet werden.

In die Untersuchung wurden 217 in unserer Klinik im Unterkieferseitenzahnbereich inserierte Implantate, die eine direkte Beziehung zum Nervus alveolaris inferior aufwiesen, bei insgesamt 102 partiell zahnlosen Patienten (117 Unterkieferhälften) aufgenommen.

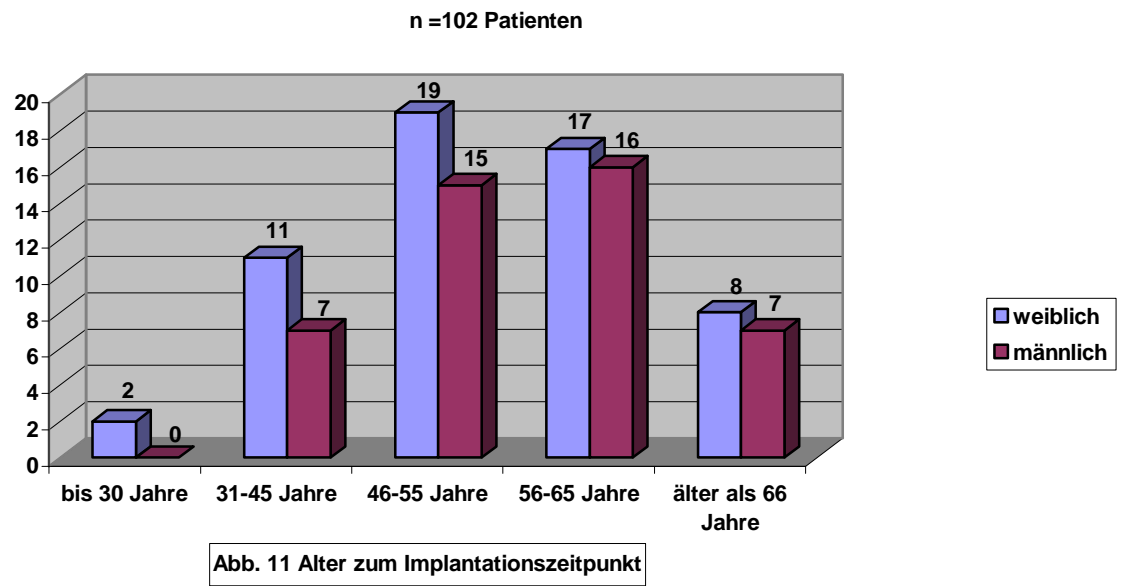
Das Patientengut teilt sich wie folgt auf:

4.1.1. Alters- und Geschlechtsverteilung

Insgesamt wurden bei 57 weiblichen und 45 männlichen Patienten Implantate im Unterkieferseitenzahngebiet inseriert, wobei bei 3 Patienten zu einem späteren Zeitpunkt erneut Implantate inseriert wurden und diese somit als eigenständige Fälle erneut gewertet wurden.

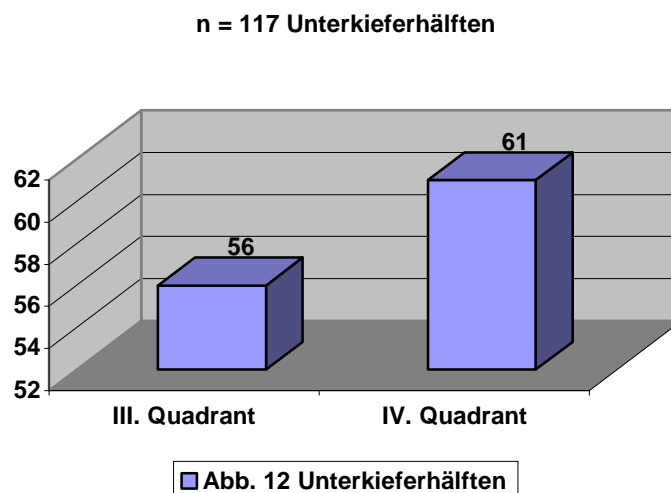
Das durchschnittliche Alter der mit Implantaten im Unterkieferseitenzahnbereich versorgten Patienten betrug 50,7 Jahre (Abb.11).

Am häufigsten wurde bei der Altersgruppe der 46 bis 55-jährigen mit $n = 34$ implantiert, gefolgt von den 56 bis 65-Jährigen mit $n = 33$.

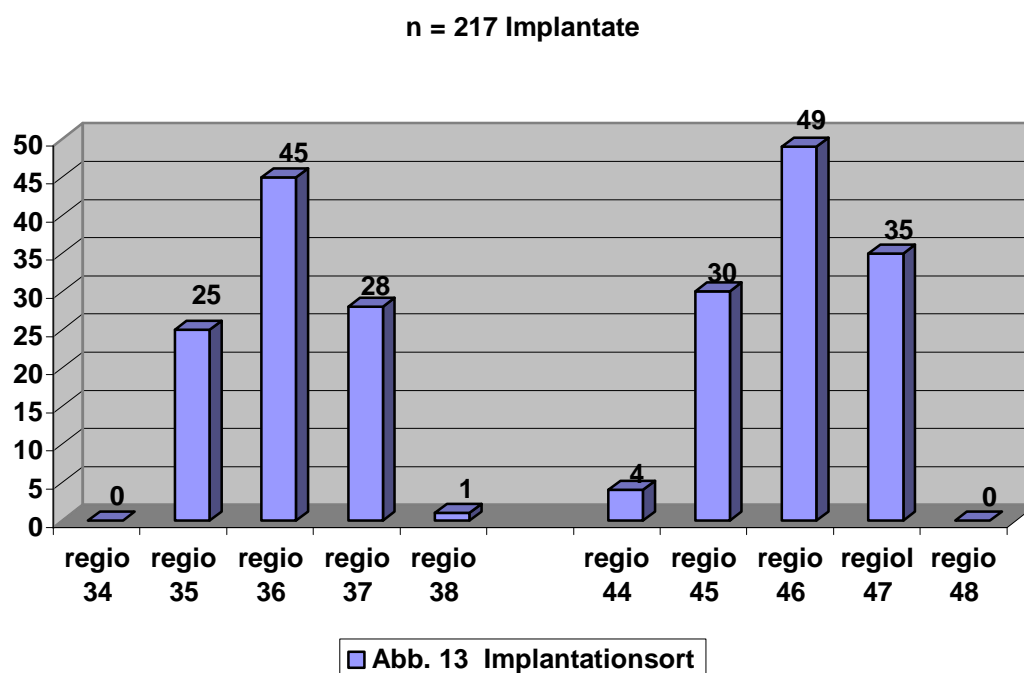


4.1.2. Implantatlokalisierung

Die 217 Implantate verteilen sich dabei mit 99 Implantaten auf den linken und 118 auf den rechten Unterkiefer (Abb. 13), wobei sich die 117 Unterkieferhälften mit einer Verteilung von jeweils 56 auf den III. und 61 auf den IV. Quadranten aufteilen (Abb. 12).



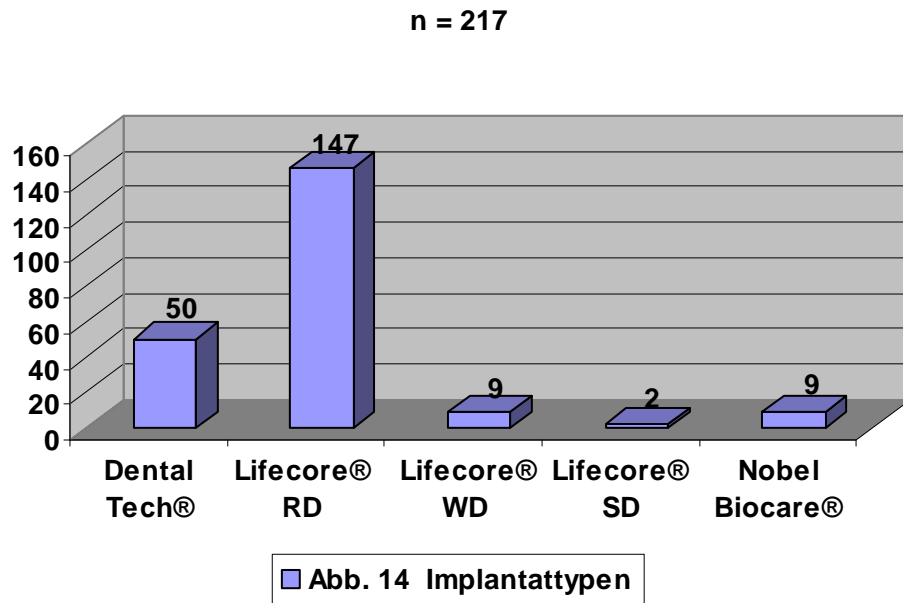
Am häufigsten erfolgte die Implantation im Bereich des ersten und zweiten Molaren (Abb.13).



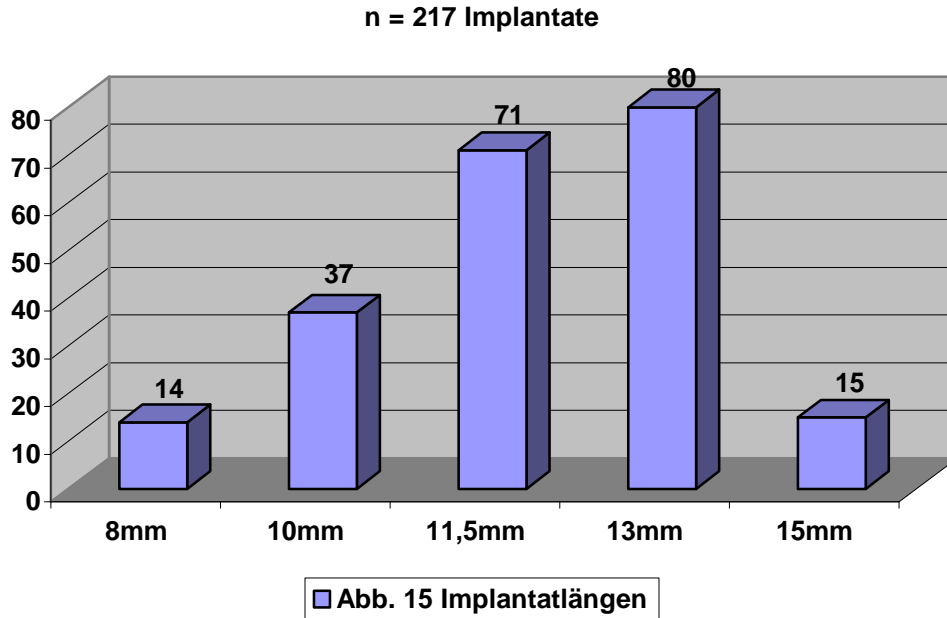
Implantate in der regio der ersten Prämolaren konnten in nur insgesamt 4 Fällen in die Auswertung mit einfließen, da lediglich diese eine direkte Beziehung zum Foramen mentale hatten.

4.1.3. Implantateigenschaften

Bei den im Klinikum Saarbrücken im Nachuntersuchungszeitraum von 1999 bis 2006 überwiegend verwendeten Implantatsystemen handelt es sich um Schraubenimplantate, vom zweiteiligen Typ, der Firmen Lifecore®, Dental Tech® und Nobel Biocare® (Abb. 14). Das am häufigsten verwendete Implantatsystem stellte jenes der Firma Lifecore dar. Bei dem Lifecore-System Lifecore® Restore® RBM handelt es sich um selbstschneidende Schraubenimplantate, mit unterschiedlichen Durchmessern von 3,3 bis 6 mm, welche durch die Zusätze SD (Small Diameter), RD (Regular Diameter) und WD (Wide Diameter) beschrieben werden.



Bei der Betrachtung der Implantatlänge wurde die Gruppe der 11,5mm und 13mm langen Implantate mit Abstand am häufigsten verwendet (Abb. 15).



4.1.4. Sensibilität

Die Sensibilität des Nervus alveolaris inferior wurde retrospektiv im Rahmen der Nachkontrolle am ersten postoperativen Tag, am Tag der Nahtentfernung und in Verbindung mit der Implantatfreilegung nach etwa 6 Monaten ermittelt und dokumentiert.

Festgehalten werden Störungen der Sensibilitäts- und Berührungsempfindung im Bereich des Nervus mentalis. Eine Differenzierung erfolgte nach Anästhesie, Hypästhesie und Normästhesie (Abb. 16).

Bei den hier ausgewerteten Fälle konnten keine permanenten Anästhesien festgestellt werden. Bei der Anzahl der festgestellten Sensibilitätsstörungen handelte es sich am ehesten um leichte Hypästhesien, wobei die Dauer, bis auf einen Fall, nie länger als 14 Tage betrug. Insgesamt wurden 5 zeitweilige, sowie eine permanente Gefühlsstörung in insgesamt 6 Unterkieferhälften dokumentiert, wobei sich eine gleichmäßige Verteilung auf den III. und IV. Quadranten ergibt. Dies entspricht einer temporären Sensibilitätsstörungsrate von 4,3 Prozent bezogen auf die Unterkieferhälften und 2,3 Prozent bezogen auf die Gesamtheit der inserierten Implantate.

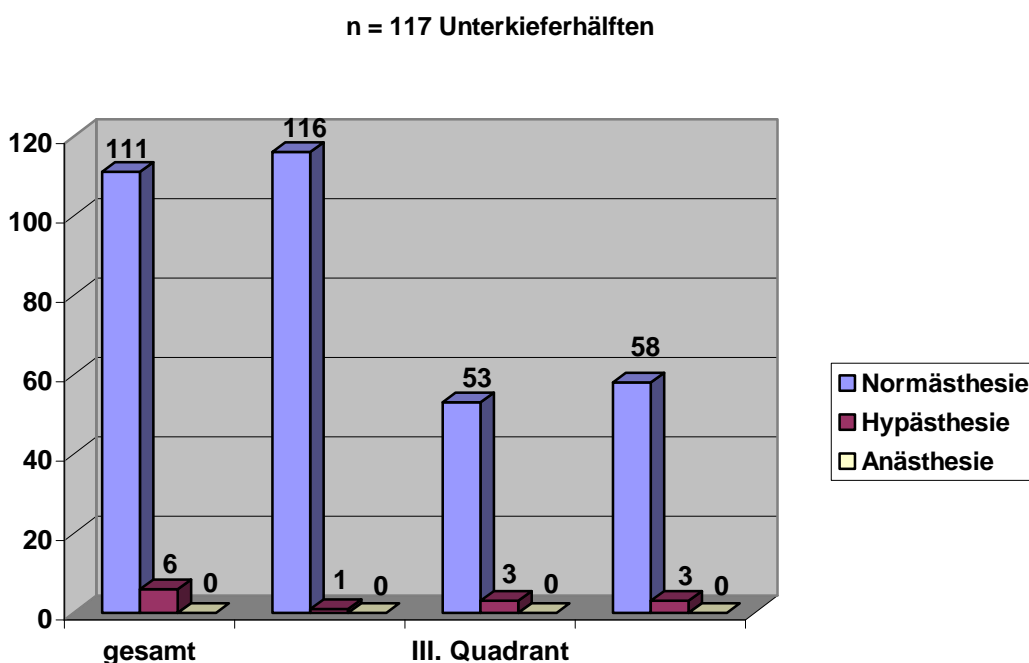


Abb. 16 Sensibilität nach Implantation

Während des oben bereits genannten postoperativen Beobachtungszeitraums von circa 6 Monaten wurde von allen 6 Patienten mit einer Hypästhesie, eine Besserung der Sensibilitätsbeeinträchtigung beschrieben. Nach bereits 14 Tagen gaben 5 der 6 Patienten an, wieder über ein normales Empfinden, wie vor dem Eingriff, zu verfügen. Lediglich bei einem Fall (das entspricht 0,46 Prozent) muss von einer permanenten, wenn auch nur leichten, Sensibilitätsstörung ausgegangen werden, da auch nach mehreren Jahren das Gefühl nicht vollständig wiedererlangt wurde. Subjektiv wird das Sensibilitätsdefizit im Innervationsgebiet des Nervus mentalis von der Patientin als eher gering eingestuft.

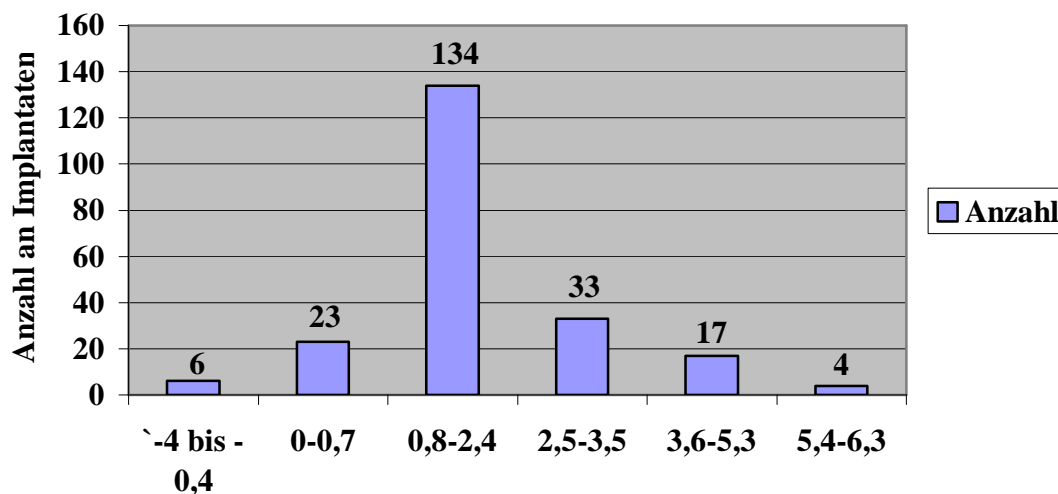


Abb. 17 Abstand zum Nervus alveolaris inferior (mm)

Die Abstände der Implantate vom Mandibularkanal in ihrer radiologischen Projektion bewegten sich von weniger als 0 mm, das heißt radiologisch im oder gar über den Kanal hinausgehend, bis mehr als 5 mm Abstand. Wie in Abbildung 17 erkennbar, wurde am häufigsten ein Abstand des Implantats zum Nervus alveolaris inferior von ca. 1 bis 2 mm erzielt. Der durchschnittliche Abstand zum Mandibularkanal lag bei 1,9mm. Immerhin befanden sich 29 Implantate, das entspricht 13 Prozent, unterhalb des von TETSCH (1991) angegebenen, nicht zu unterschreitenden Sicherheitsabstandes von einem Millimeter.

Bei insgesamt 19 Implantaten, die einen röntgenologisch gemessenen Abstand von \leq 0mm aufwiesen, projiziert sich das Implantat auf oder über den Nervkanal, jedoch ist postoperativ von nur 3 Patienten eine Beeinträchtigung im Sinne einer Anästhesie, Parästhesie oder Hypästhesie durch den Patienten beschrieben worden. Die hier genannten Zahlen können im Umkehrschluss zu einer Berechnung des Risikos einer Nervverletzung herangezogen werden. Demnach kam es bei den nachuntersuchten Patienten in 84 Prozent der Implantationen, bei denen sich das Implantat röntgenologisch über den Nervkanal projiziert, zu keiner Verletzung des Nervus alveolaris inferior.

Stellt man der Abbildung 17 die Sensibilitätsstörungen gegenüber, ergibt sich folgendes Bild (Abb. 18). Wie zu erwarten, befinden sich die häufigsten Gefühlsbeeinträchtigungen (>20 Prozent) in der Gruppe des „negativen“ Abstandes zum Nervus alveolaris inferior (-4 bis -0,4), sprich der Implantate die sich über die sensible anatomische Struktur projizieren. Je größer der Abstand zum Nerv wird, desto seltener werden die Komplikationen. Das in den beiden Gruppen 2,5 bis 3,5 und 3,6 bis 5,3 wieder höhere Störungen auftreten, lässt sich mit Falsch-Positiven Ergebnissen erklären. Trotz eines am Ende großen Abstandes Implantat – Nerv wurde eine Hypästhesie dokumentiert, da auch eine zu lange Vorbohrung, Ödembildung, Knochenkompression, Verletzung des N. mentalis, zum Beispiel durch falsches Abhalten des gebildeten Mukoperiostlappens oder eine Komplikation bei der Leitungsanästhesie diese verursacht haben könnte.

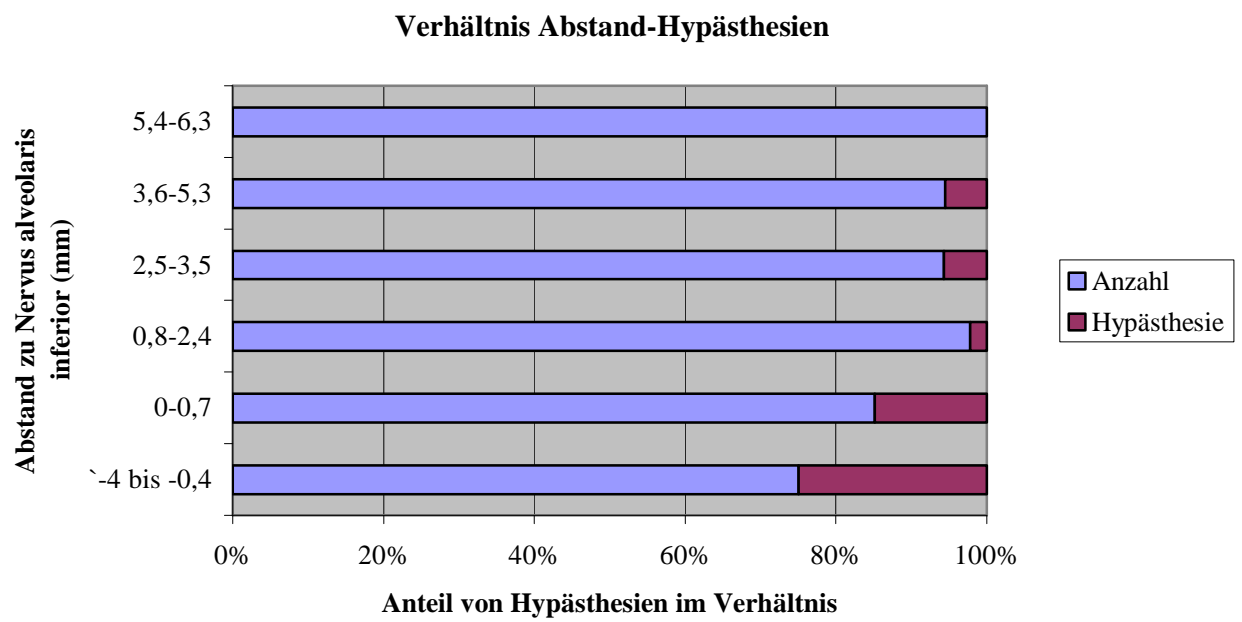


Abb. 18 Verhältnis von Hypästhesien zu Abstand zum Nervus alveolaris inferior

5. Diskussion

5.1. Kritische Betrachtung dieser Untersuchung

Ziel dieser Untersuchung ist die Bewertung der prä-, intra- und postoperativen implantologischen Diagnostik im Unterkieferseitenzahnbereich mittels Panoramaschichtaufnahme in der Klinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie und Plastische Operationen des Klinikums Saarbrücken im Zeitraum von 1999 bis 2006. Die notwendigen Daten wurden durch Sichtung der archivierten Behandlungsunterlagen der Patienten mit Implantation im Unterkieferseitenzahnbereich sowie Vermessung und Auswertung der Panoramaröntgenaufnahmen zum Zeitpunkt vor, während und nach der Implantation analysiert. In der Klinik für Mund-, Kiefer und Gesichtschirurgie und Plastische Operationen des Klinikums Saarbrücken wurde bisher keine Untersuchung mit der oben genannten Fragestellung durchgeführt. Auch aus der Literatur ist keine entsprechende Untersuchung bekannt.

Im Zeitraum von 1999 bis 2006 wurden ausschließlich durch einen erfahrenen Operateur bei 102 partiell zahnlosen Patienten 217 Implantate im Unterkieferseitenzahnbereich mit unmittelbarer Beziehung zum Nervus alveolaris inferior inseriert. Dabei wurden verschiedene Parameter wie Alter, Geschlechtsverteilung, Implantattypen, Implantationsort, Implantatlänge und Sensibilitätsstörungen betrachtet.

Über den Zeitraum und die Zahl von 217 Implantaten gesehen, kam es bei einer durchschnittlichen Annäherung von 1 bis 2 mm an die sensible Struktur Nervus alveolaris inferior, zu einer Sensibilitätsstörungsrate von 2,7 Prozent, wobei die Hypästhesien nie länger als 14 Tage anhielten.

Das Risiko einer Sensibilitätsstörung des Nervus alveolaris inferior wird in der Literatur mit 3,5 Prozent angegeben. Die Zahl der Fälle mit einer tatsächlichen, persistierenden Nervschädigung reduziert sich allerdings auf 1 Prozent (WINTER et al. 1995). Wenz und Mitarbeiter (2004) untersuchten im Jahr 2004 Sensibilitätsstörungen nach enossaler Implantation im Unterkiefer an 485 Patienten und verzeichneten eine Misserfolgsrate von unter 2 Prozent (WENZ et al. 2004).

Die insgesamt 6 in dieser Arbeit gegenüber gestellten Verfahren (Kugelmessaufnahme, Mittelwertschablone, Computertomographie, digitale Volumentomographie, navigationsgesteuerte Implantologie und intraoperative Messaufnahme) haben alle das Ziel, dem Operateur möglichst präzise Werte zu liefern, um den N. mandibularis zu schonen. Dabei werden durchaus unterschiedliche Wege beschritten, um an dieses Ziel zu gelangen.

Die Verfahren der Kugelmessaufnahme, der Mittelwertschablone und der intraoperativen Messaufnahme verwenden zur bildgebenden Diagnostik die Panoramaschichtaufnahme. Diese stellt in der Zahnheilkunde eine meist verfügbare Standardaufnahme dar, die einfach und schnell, mit geringem Aufwand durchzuführen ist und eine gute Röntgendiagnostik, mit relativ großer Genauigkeit in der Längenbestimmung, zulässt. Für den Patienten bedeutet diese bildgebende Maßnahme eine zugleich kostengünstige und strahlenreduzierte Form der Röntgenaufnahme, die selbst bei mehrfacher Anwendung bei weitem nicht an die Strahlendosis eines CT's oder DVT's heranreicht.

Da die Panoramaschichtaufnahme jedoch nur eine zweidimensionale Darstellung zulässt, ist die sagittale Dimension und somit die eindeutige räumliche Lage des Mandibularkanals nicht zu beurteilen. Wenn sich also das Implantat über den Nervkanal projiziert und keine Störung der Sensibilität vorliegt, befinden sich der Bohrkanal und das Implantat wahrscheinlich bukkal oder lingual vom Nervkanal. Des weiteren sei die gerätespezifische Vergrößerung zu erwähnen, die individuell für jeden Patienten und die Region zur Implantation zu berechnen ist. Wenn man diesen Punkt einmal kritisch betrachtet, so muss man doch erkennen, dass die Diagnostik über die Mittelwertschablone nur mit Ungenauigkeiten einhergehen kann und somit lediglich als zusätzliches Hilfsmittel eine Verwendung finden sollte. Die Methode der Kugelmessaufnahme mit Hilfe einer laborgefertigten Kunststoffschablone liefert genauere Ergebnisse, jedoch ist dabei auf einen eindeutig reproduzierbaren Sitz dieser Schablone zu achten, idealer Weise sollte sie rein parodontal abgestützt werden. Weiterhin sollte die Referenzkugel möglichst nah am späteren Implantationsort platziert werden, um eine sehr exakte Vermessung des Knochenangebots am Implantationsort gewährleisten zu können. Dies lässt sich jedoch nur bedingt verwirklichen.

Hinzukommt, dass mit größerer Distanz der Kugel zum Nervkanal die Wahrscheinlichkeit einer Ungenauigkeit im Messergebnis steigt.

Die navigationsgesteuerte Implantologie nutzt zur Diagnostik Datensätze, die auf einem Computertomogramm oder einem digitalen Volumentomogramm basieren. Unter Inkaufnahme einer relativ hohen Strahlendosis werden die Daten mittels Computer sehr exakt errechnet. aber vorausgehend ist auch eine höhere analoge Strahlendosis notwendig.

Diese Standardverfahren (CT, DVT und die navigationsgesteuerte Implantologie) haben folgende Nachteile:

- Relativ hoher Zeitaufwand
- Hohe Strahlenbelastung und deren gesundheitliche Folgen
- Hohe Kosten

Bei zehnfacher (DVT-Verfahren) beziehungsweise einhundertfacher Strahlenbelastung (Computertomogramm) gegenüber einer Panoramaschichtaufnahme, verbunden mit dem Risiko gesundheitlicher Spätfolgen (90-fach erhöhtes Krebsrisiko (EUROPEAN GUIDELINES ON RADIATION PROTECTION, 2004)) ist die Gefahr einer Nervverletzung in kritischer Nutzen-Risiko-Relation in jedem Einzelfall zu prüfen. Weiterhin stellen die Verfahren der Digitalen Volumentomographie, der Computertomographie und der navigationsgesteuerten Implantologie nicht nur für den Patienten hohe Kosten, sondern auch für den Mediziner einen hohen finanziellen Aufwand dar. Damit würde die für die Zahnheilkunde immer bedeutender werdende und häufiger praktizierte Implantologie für weniger Patienten erschwinglich. Ferner ist der Zeitaufwand zu berücksichtigen. Gerade bei der navigationsgesteuerten Implantologie ist dies ein nicht zu vernachlässigender Faktor.

Die intraoperative Kontrolle durch die Darstellung der anatomischen Strukturen und der Position der Implantataufbereitungsinstrumente erfordert einen hohen apparativen Aufwand. Der gesamte zeitliche operative Aufwand bei der Anwendung der Navigationssysteme ist daher selten reduziert (CACACI et al. 2006).

Einen guten Mittelweg zwischen Kosten-, Zeitaufwand, Strahlenbelastung, einem ausreichenden Maß an röntgenologischer Genauigkeit, bei gleichzeitig großer

Genauigkeit am Implantationsort, stellt die im Klinikum Saarbrücken angewandte Meßmethode mit Hilfe der intraoperativen Panoramamessaufnahme dar.

Vorraussetzung für dieses Verfahren ist jedoch ein kooperativer Patient, der eine Implantation in lokaler Anästhesie erlaubt, sowie ein Orthopantomograph in unmittelbarer Nähe zum Operationsraum. Im Umkehrschluss bedeutet dies natürlich, dass bei Angstpatienten, die zur Implantation eine Intubationsnarkose benötigen, diese Messmethode nicht zur Anwendung kommen kann.

Außerdem verlängert sich die Operationsdauer um die Anfertigungs- und Entwicklungszeit der intraoperativ angefertigten Röntgenaufnahme. Zu einer Verkürzung dieser Wartezeit für das Operationsteam trägt die zunehmende Digitalisierung der Röntgenbildentwicklung aber sicherlich bei. Beachtet werden sollte außerdem, dass der Patient während der Entwicklung der Panoramaschichtaufnahme, zur Fortführung der Implantation, erneut steril abgedeckt werden muss, was eine Erhöhung der Kosten in diesem Bereich mit sich bringt.

Das im Klinikum Saarbrücken verwendete Diagnostikverfahren zur Implantatlängenbestimmung und somit die Annäherung an den Nervus mandibularis ist das, im Vergleich, strahlenärmste und kostengünstigste Vorgehen, das ein Implantologe in Eigenregie schnell, während und nach der Operation durchführen kann, bei vergleichbarem Erfolg bezüglich Nervschonung. Aber, bei Vernachlässigung der gebotenen intraoperativen Sorgfalt und Vorsicht, kann es auch durch zu tiefes Bohren (tiefer als geplant) zu einer Nervverletzung kommen. Hier stellt ein Bohrer mit Stopp eine geeignete Operationshilfe dar (Abb. 19 [8]).

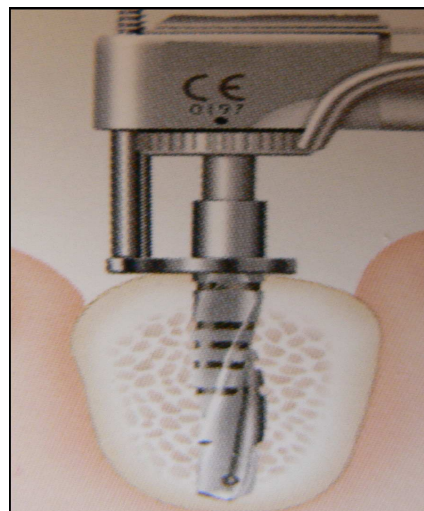


Abb. 19 Winkelstück mit eingespanntem Tiefenstopp [8]

Die Ergebnisse, sprich der Prozentsatz der permanenten Nervverletzungen, sind nicht nur abhängig von den oben genannten Messverfahren, sondern vor allem auch von der Sorgfalt und Erfahrung des Implantologen.

Abschließend ist zu berücksichtigen, dass die Verletzung des Nervus alveolaris inferior und des Nervus mentalis und somit eine folgende Sensibilitätsstörung auch beim Anästhesieren, Präparieren des Implantatlagers, mit der Pilotbohrung beginnend, und nicht nur durch das zu lang gewählte, beziehungsweise zu tief inserierte Implantat erfolgen kann.

6. Literaturverzeichnis

- CACACI, C. Checkliste der Zahnmedizin – Orale Implantologie
 NEUGBAUER, J. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1. Auflage (2006)
 SCHLEGEL, A.
 SEIDEL, F.
- DÜKER, J. Röntgendiagnostik mit der Panoramaschichtaufnahme
 Hüthig Zahnmedizin MVH Medizinverlage
 GmbH & Co. KG Heidelberg, 558-570 (2000)
- FALLSCHLÜSSEL, G.K.H. Zahnärztliche Implantologie. Wissenschaft und Praxis,
 Quintessenz, Berlin (1986)
- HARTMANN, H.-J. Aktueller Stand der zahnärztlichen Implantologie 1, 1-8
 Spitta Verlag GmbH & Co. KG, Balingen (1993)
- HARTMANN, H.-J. Aktueller Stand der zahnärztlichen Implantologie 1, 18
 Spitta Verlag GmbH & Co. KG, Balingen (2003)
- HEURICH, T. Aktueller Stand der zahnärztlichen Implantologie 4b, 3-5
 Spitta Verlag GmbH & Co. KG, Balingen (2003)
- HOFFMEISTER, B. Innervationsstörungen nach präprothetischen Eingriffen
 KREUSCH, Th. und Implantaten im Unterkiefer, Deutsche Zahnärztliche
 KIRSCH, A. Zeitschrift 49, 67-70 (1994)
- HÜMMEKE, S. Diagnostische Möglichkeiten der digitalen Volumen-
 ESSER, E. tomographie (DVT)
 VOSSHANS, J. Quintessenz 54, 10, 1105-1112 (2003)

- KAEPPLER, G. Schichtaufnahmeverfahren in der implantologischen Diagnostik, Implantologie, 9/2, 129-144 (2001)
- KOECK, B. Implantologie, Praxis der Zahnheilkunde, 2. Auflage
WAGNER, W. Urban & Fischer Verlag, München (2004)
LIPPERT, H. Lehrbuch der Anatomie, 496, Urban & Fischer Verlag, München (2003)
- MÖBES, O. Strahlenexposition bei der digitalen Volumentomographie,
BECKER, J. Panoramaschichtaufnahme und Computertomographie
SCHNELLE, C. Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift 55, 336-339 (2000)
EWEN, K.
KEMPER, J.
COHNEN, M.
- PASLER, F.A. Farbatlanten der Zahnmedizin, Zahnmedizinische
VISSER, H. Radiologie - Bildgebende Verfahren, 5, 2. Auflage
Georg Thieme Verlag, Stuttgart (2000)
- RICHTER, U. Evidenzbasierte Implantologie mittels
SCHMOLL, J. computergestützter dreidimensionaler Planung –
CT-Diagnostik, Referat auf der Jahrestagung der
Arbeitsgemeinschaft Dentale Technologie e.V.,
Sindelfingen, 15. Juni 2001
- SCHULZE, D. Der Einsatz der digitalen Volumentomographie in der
bildgebenden Diagnostik der Zahnheilkunde, Dentale
Implantologie und Parodontologie 3, 194-203 (2005)
- SPIEKERMANN, H. Farbatlanten der Zahnmedizin, Implantologie, 10, 102-108
343-352, Georg Thieme Verlag, Stuttgart (1994)
- TETSCH, P. Enossale Implantation in der Zahnheilkunde. Hanser,
München, 1991

- TETSCH, P.
STRUNZ, V. Schädigungen des Nervus alveolaris inferior durch
Implantationen im Unterkieferseitenzahnbereich,
Zeitschrift für Zahnärztliche Implantologie 3, 53-57
(1987)
- VOSSHANS, J.
HÜMMEKE, S.
WIESEND, M.
ESSER, E. Das Anwendungsspektrum der digitalen
Volumentomographie, Zahnärztliche Mitteilungen 95, 32-
36 (2005)
- WATZEK, G. Enossale Implantate in der oralen Chirurgie,
Quintessenz Verlags-GmbH, 212 (1993)
- WENZ, C.
DAMMER, R.
JANßEN, H.
NIEDERDELLMANN, H. Sensibilitätsstörungen nach enossaler Implantation im
Unterkiefer – Eine retrospektive Untersuchung an
485 Patienten
Zeitschrift für Zahnärztliche Implantologie 3, 160-6
(2004)
- WINTER, M.
KOCHHAN, G.
PLATTE, J.
SCHMITZ, HJ Zur Häufigkeit von Verletzungen des Nervus alveolaris
inferior infolge enossaler Implantation im
Unterkieferseitenzahnbereich, Zeitschrift für zahnärztliche
Implantologie 11(2), 79-82 (1995)
- ZITZMANN, N.U.
SCHÄRER, P. Implantologie – Ein klinisches Kompendium III, 15
Verlag KBM, Zürich (1997)
- EUROPEAN GUIDELINES ON RADIATION PROTECTION IN DENTAL
RADIOLOGY, NO° 136, (2004)

7. Bildverzeichnis

- [1] Farbatlanten der Zahnmedizin 10, Implantologie, S. 102
Georg Thieme Verlag, Stuttgart (1994)
- [2] Farbatlanten der Zahnmedizin 10, Implantologie, S. 103
Georg Thieme Verlag, Stuttgart (1994)
- [3] Hirsch, DVT - Digitale Volumentomographie zur präoperativen
Darstellung verlagelter Zähne, ZMK 18, Spitta-Verlag GmbH & Co. KG,
Balingen (2002)
- [4] European guidelines on radiation protection in dental radiology, Issue
N°136 (2004), S. 18
- [5] Interdisziplinäres Journal für prothetische Zahnheilkunde 2/03, S. 120
- [6] Parallelisierungsstifte, Selbstaufnahme
- [7] Intra- und postoperative OPT- Aufnahmen, angefertigt in der Klinik für
Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie und Plastische Operationen, des
Klinikums Saarbrücken
- [8] Werbeprospekt der Firma NSK Europe GmbH
PR-D363G Ver.1 07.03.01.O

8. Dank

Die vorliegende Arbeit entstand unter der Leitung von Herrn Prof. Dr. Dr. J. Dumbach, Chefarzt der Klinik für Mund-, Kiefer-, Gesichtschirurgie und Plastische Operationen des Klinikums Saarbrücken.

Herrn Prof. Dr. Dr. J. Dumbach danke ich für die Überlassung des Themas und die freundliche Unterstützung und Betreuung bei der Ausführung der Arbeit. In seiner Eigenschaft als Chefarzt der Klinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie und Plastische Operationen hat er neben der wissenschaftlichen, insbesondere meine klinische und operative Tätigkeit gefördert und mein Auge für die Diagnostik geschärft, wofür ich mich an dieser Stelle ausdrücklich bedanken möchte.

Ohne seine ausführliche und akribische Dokumentation aller seiner Operationen wäre die Erstellung dieser Arbeit deutlich erschwert gewesen.

Abschließend möchte ich mich bei meiner lieben Frau ganz herzlich für ihre Geduld und ihre moralische Unterstützung während der gesamten Arbeit bedanken.

9. Lebenslauf

Zur Person Jan Hendrik Foet,
geboren am 09.05.1975 in Bonn,
verheiratet

Ehefrau Dr. med. dent. Wencke Foet, geb. Fischer, Zahnärztin

Eltern Dr. med. dent. Hans Joachim Foet, Zahnarzt
Brigitte Foet, geb. Korb, Grundschullehrerin

Geschwister Nina Carolin Foet, Dipl.-Betriebswirtin

Ausbildung

Ab 07/2005: Weiterbildung zum Zahnarzt für Oralchirurgie in der Klinik für
Mund-, Kiefer-, Gesichtschirurgie und Plastische Operationen des
Klinikums Saarbrücken Chefarzt Prof. Dr. Dr. J. Dumbach

04/2003-06/2005: Beginn der oralchirurgischen Weiterbildung in der Praxis des
Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgen Dr. Dr. H.-W. Addicks in
Gütersloh

Studium

12/2002: Staatsexamen und Approbation

04/2000: Zahnärztliche Vorprüfung

09/1999: Naturwissenschaftliche Vorprüfung

05/1997: Beginn des Studiums der Zahnmedizin an der Julius-Maximilians-
Universität Würzburg

Schulausbildung

05/1996: Allgemeine Hochschulreife

1994: Gymnasium Otto-Kühne-Schule, Bonn – Bad Godesberg

1992: Sutton Valence School, England

1986: Gymnasium Aloisiuskolleg, Bonn – Bad Godesberg